

(19) Japan Patent Office (JP)

(12) Publication of Patent Application (A)

(11) Publication Number of Patent Application: 6-53120

(43) Date of Publication of Application: February 25, 1994

(51) Int. Cl.5: Domestic Classification Symbol

H01L 21/027

G03F 7/20 521

Intraoffice Reference Number:

9122-2H

7352-4M

FI:

H01L 21/30 311 S

Technology Indication Field:

Request for Examination: Not made

Number of Claims: 2 (8 pages in total)

(21) Application Number: Patent Application 4-219782

(22) Application Date: July 27, 1992

(71) Applicant: 000004112

Nikon Corporation

2-3, Marunouchi 3-chome, Chiyoda-ku, Tokyo

(72) Inventor: Masato Shibuya

c/o Nikon Corporation, Ohi Plant

6-3, Nishiohi 1-chome, Shinagawa-ku, Tokyo

(74) Agent: Patent Attorney, Satoshi Ohmori

(54) [Title of the Invention] Illumination optical apparatus

(57) [Abstract]

[Object]

In a case of carrying out plural inclined illumination, when a pattern of a reticle is a line and space pattern constituting a longitudinal direction by a direction orthogonal to an incidence plane of illuminating light thereof, a contrast of an image thereof is improved.

[Constitution]

4 pieces of openings 24a through 24d of a spatial filter 24 as a secondary light source forming portion are respectively covered by polarizers 25A through 25D, and a polarizing direction of the polarizers 25A through 25D are set to a tangential direction of a circumference constituting an axis thereof by an optical axis AX.

[Claims]

[Claim 1]

An illumination optical apparatus characterized in an illumination optical apparatus for uniformly illuminating a predetermined region on an object by illuminating light from an illumination optical system, the illumination optical apparatus including inclined light forming means for forming inclined light illuminating the predetermined region from an oblique direction, and polarizing means for forming linearly polarized illuminating light in a direction orthogonal to an incidence plane of the inclined light for inclinedly illuminating the predetermined region by converting the inclined light.

[Claim 2]

An illumination optical apparatus characterized in an illumination optical apparatus including a light source for supplying illuminating light and a condensing optical system for uniformly illuminating a predetermined region of an object by the illuminating light;

wherein inclined light forming means for illuminating the predetermined region from an oblique direction by forming a secondary light source eccentric to an optical axis of the condensing optical system by the illuminating light is arranged between the light source and the condensing optical system; and

wherein polarizing means for forming linearly polarized illuminating light in a direction orthogonal to an incidence plane of inclined light for inclinedly illuminating the predetermined region by converting the inclined light is arranged between the inclined light forming means and the condensing optical system.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Field of Application]

The present invention relates to an illumination optical apparatus preferable by being applied to an illumination system of a projection exposure apparatus used in fabricating, for example, a semiconductor device or a liquid crystal display device.

[0002]

[Prior Art]

When a semiconductor or a liquid crystal display device or the like is fabricated by using photolithography, there is used a projection exposure apparatus for transcribing a pattern of a photomask or a reticle (hereinafter, generally referred to as "reticle") onto a sensitive substrate. According to such a projection exposure apparatus, in accordance with highly integrated formation of a semiconductor device or the like, it is requested to bake a smaller pattern by a high resolution. As a method of realizing the request,

there is disclosed a phase shift reticle method utilizing an effect of interfering light from different transparent portions of a pattern region of a reticle in JP-B-62-50811. When the method is applied to a line and space image, basically, 0th-order diffracted light is not present, imaging is constituted only by  $\pm$ 1st-order diffracted light, and even in a projection optical system having the same numeral aperture, a line and space image smaller than that of a case of a reticle of a prior art can be baked by a high resolution.

[0003]

Further, as other approach for further promoting a resolution, there is proposed a method of baking a fine pattern by a high resolution and a comparatively deep depth of focus by devising an illumination optical system by the applicant (refer to, for example, Proceeding of Applied Physics Related Conference 30-a-NA-3, 4, March, 1992). In the following, the method is referred to as "plural inclined illumination method" and the method will be explained in reference to Fig. 8. First, Fig. 8(a) shows an equivalent light source portion 10 of a secondary light source portion or the like in an illumination optical system applied with the plural inclined illumination method, and in Fig. 8(a), 4 pieces of small light sources 11A through 11D are arranged along an axis  $x'$  intersected with  $x$  axis and  $y$  axis forming an orthogonal coordinates system respectively by  $45^\circ$  and an axis symmetric with regard to the

axis  $x'$  and  $y$  axis. An alignment of the small light sources 11A through 11D is suitable for a case in which a pattern of a reticle constituting an object of transcription is a line and space pattern having a long edge mainly in parallel with  $x$  axis or a long edge in parallel with  $y$  axis.

[0004]

Fig. 8(b) shows an outline constitution of a projection exposure apparatus constituting a light source by the equivalent light source portion 10 of Fig. 8(a), in Fig. 8(b), a chief ray 15A of illuminating light from the small light source 11A of the equivalent light source portion 10 is irradiated to a reticle 12 by way of a condenser lens system, not illustrated, obliquely to the optical axis AX. The equivalent light source portion 10 is conjugate with a pupil plane (incidence pupil plane) 10A of a projection optical system 13, and the pupil plane is provided with an aperture stop 13a. 0th-order diffracted light (which is also designated by notation 15A) and 1st-order diffracted light 16A are emitted from the reticle 12 substantially symmetrically relative to the optical axis AX, and the 0th-order diffracted light 15A and the 1st-order diffracted light 16A are incident on a wafer 14 as a sensitive substrate by way of the projection optical system 13 by substantially the same angle of incidence  $\theta$ . In this case, the 0th-order diffracted light 15A and the 1st-order diffracted light pass through a vicinity of a

peripheral edge of the pupil symmetrically relative to the optical axis AX, and therefore, a resolution up to a limit of a function of the projection optical system 13 is achieved.

[0005]

Further, according to a system in which 0th-order diffracted light is orthogonally incident on the wafer 14 as in the prior art, since a wave front aberration of the 0th-order diffracted light and a wave front aberration of other diffracted light relative to a defocus amount of the wafer 14 significantly differ from each other, a depth of focus is shallowed. In contrast thereto, according to the constitution of Fig. 8(b), the 0th-order diffracted light and the 1st-order diffracted light are incident on the wafer 14 by the equal angle of incidence, and therefore, wave front aberrations of the 0th-order diffracted light and the 1st-order diffracted light are equal to each other when the wafer 14 is disposed before or after a position of a focal point of the projection optical system 13, and the depth of focus is deepened.

[0006]

[Problems that the Invention is to Solve]

According to the plural inclined illumination method, the method is effective for a line and space pattern 8 in an x axis direction or a y axis direction. In contrast thereto, as shown by Fig. 9, in a case of a line and space pattern 9 in which a long edge is in a direction of  $45^\circ$  relative to x

axis or y axis, when notation 10A designates a pupil of a projection optical system, according to diffracted light from the two small light sources 11B and 11D in four small light sources 11A through 11D of Fig. 8(a), only the 0th-order diffracted light 15B and 15D pass the pupil 10A of the projecting lens,  $\pm$ 1st-order diffracted light 16B and 16D do not pass the pupil 10A, and therefore, the pattern is not formed on the wafer 14 but the wafer 14 is simply illuminated uniformly. As a result, a contrast of the pattern on the wafer 14 is reduced.

[0007]

This will be shown by a simple numerical calculation. An intensity of  $\pm$ 1st-order diffracted light as compared with an intensity of 0th-order diffracted light is designated by notation  $a$ , and the respective small light sources 11A through 11D are regarded as point light sources. In this case, an image intensity distribution  $I(x)$  on x axis in a case of a line and space pattern which is long in a y axis direction is as follows as a sum of image intensity distributions by the respective small light sources.

[Equation 1]

$$I(x) = 4\{1 + a^2 + 2a \cdot \cos [(4\pi/\lambda)(\sin\theta)x]\}$$

[0008]

Here, as shown by Fig. 8(b), the angle of incidence  $\theta$  is an angle made by 0th-order diffracted light or  $\pm$ 1st-order



diffracted light and the optical axis AX. In contrast thereto, in a case of a line and space pattern which is long in a direction intersecting with x axis or y axis by 45°, when a coordinate axis in a 45° direction is designated as x' axis, an intensity distribution I (x') is as follows.

[Equation 2]

$$\begin{aligned} I(x') &= 2\{1 + a^2 + 2a \cdot \cos [(4\pi/\lambda) (\sin\theta)x]\} + 2\{1\} \\ &= 4\{1 + (a^2/2) + a \cdot \cos [(4\pi/\lambda) (\sin\theta)x]\} \end{aligned}$$

[0009]

When contrasts Cx and Cx' of respective intensity distributions are calculated from (Equation 1) and (Equation 2) as follows.

[Equation 3]

$$Cx = 2a/(1 + a^2), \quad Cx' = a/(1 + a^2/2)$$

[0010]

In this case, the following inequality is established.

$$Cx - Cx' = a/((1 + a^2) (1 + a^2/2)) > 0$$

Therefore, the following inequality is established.

[inequality 4]

$$Cx > Cx'$$

[0011]

Therefore, a reduction in the contrast of the pattern which is long in the direction intersecting with x axis by 45° is shown. For example, when widths of a line and a space are equal, the intensity a of ±1st-order diffracted light becomes

$2/\pi$ , and therefore, the contrasts become as shown by next equations.

$$C_x = 0.906, C_{x'} = 0.529$$

[0012]

Further, although in the above-described explanation, an explanation has been given by taking an example of a case of the plural inclined illumination method, even when, for example, a ring band illumination method or the like is used, it is desired to further improve the contrast of the image. In view of such a point, it is an object of the invention that in an illumination optical apparatus for illuminating a reticle or the like by positively utilizing illuminating light inclined to an optical axis, in a case in which a pattern of the reticle or the like is a line and space pattern constituting a longitudinal direction by a direction orthogonal to an incidence plane of the illuminating light, when the pattern of the reticle or the like is projected by a projection optical system, a contrast of an image thereof is made to be able to be improved by devising a side of the illumination optical apparatus.

[0013]

[Means for Solving the Problem]

According to a first illumination optical system according to the invention, as shown by, for example, Fig. 3, in an illumination optical system for uniformly illuminating

a predetermined region on an object (12) by illuminating light from an illumination optical system, the illumination optical system includes inclined light forming means (24) for forming inclined light (27B, 27C) for illuminating the predetermined region from an oblique direction, and polarizing means (25B, 25C) for forming illuminating light linearly polarized in a direction orthogonal to an incidence plane of the inclined light for inclinedly illuminating the predetermined region by converting the inclined light.

[0014]

Further, according to a second illumination optical system, as shown by, for example, Fig. 3, in an illumination optical apparatus including a light source (20) for supplying illuminating light and a condensing optical system (26) for uniformly illuminating a predetermined region on an object (12) by the illuminating light, an inclined light forming means (24) for illuminating the predetermined region from an oblique direction by forming a secondary light source eccentric to an optical axis of the condensing optical system by the illuminating light is arranged between the light source (20) and the condensing optical system (26), and polarizing means (25B, 25C) for forming illuminating light linearly polarized in a direction orthogonal to an incidence plane of the inclined light for inclinedly illuminating the predetermined region by converting the illuminated light is arranged between the

inclined light forming means (24) and the condensing optical system (26).

[0015]

[Operation]

An explanation will be given of a principle of a plural inclined illuminating method for illuminating an object by illuminating light from 4 pieces of small light sources as follows. First, according to the first illumination optical system of the invention, as shown by, for example, Fig. 3, the inclined light (27B, 27C) for illuminating the predetermined region of the object (12) from the oblique direction is formed, and beams of the inclined light (27B, 27C) are respectively polarized linearly in the direction orthogonal to the incidence plane (paper face) for the object (12) (an electric vector is oscillated in the direction orthogonal to the incidence plane). Further, linearly polarized light signifies a state in which a direction of oscillating the electric vector of a light wave is disposed in one plane, and the direction of oscillating the electric vector is defined as a direction of linearly polarized light. Further, when light reaches a boundary face of a medium, the incidence plane is defined as a face including a normal line of the face and an incident direction of light at the point. When the illumination optical system of Fig. 3 is simplified, the apparatus is as shown by Fig. 1.

[0016]

Fig. 1(a) shows the equivalent light source portion 10 of a secondary light source portion or the like of the illumination optical apparatus of Fig. 3, in Fig. 1(a), 4 pieces of the small light sources 11A through 11D are arranged along the axis  $x'$  intersected with  $x$  axis and  $y$  axis forming the orthogonal coordinates system respectively by  $45^\circ$  and the axis symmetrical with regard to the axis  $x'$  and  $y$  axis.

[0017]

Fig. 1(b) shows an outline constitution of a projection exposure apparatus using the illumination optical apparatus of Fig. 3, in Fig. 1(b), the equivalent light source portion 10 is equal to the equivalent light source portion of Fig. 1(a). The chief ray 15A of exposure light from the small light source 11A of the equivalent light source portion 10 is illuminated to the reticle 12 obliquely to the optical axis AX by way of a condenser lens system, not illustrated. The chief ray 15A corresponds to the inclined light (27B, 27C) of Fig. 3. The incidence plane of the chief ray 15A is in parallel with paper face of Fig. 1(b), and therefore, according to the invention, the chief ray 15A is incident on the reticle 12 by being linearly polarized in a direction orthogonal to the paper face of Fig. 1(b) (the electric vector is oscillated in the direction orthogonal to the paper face). Similarly, in Fig. 1(a), light from the respective small light sources 11B through 11D is

incident on the reticle 12 of Fig. 1(b) by being linearly polarized in a direction of an arrow mark of Fig. 1(a), that is, a direction orthogonal to an incidence plane with regard to the reticle 12.

[0018]

Further, the 0th-order diffracted light (which is also designated by notation 15A) and the 1st-order diffracted light 16A from the reticle 12 are incident on the wafer 14 by way of the projection optical system 13. First, when a pattern formed at the reticle 12 is a line and space pattern which is long in a direction in parallel with x axis or y axis of Fig. 1(a) constituting a pattern preferable for the prior art, a polarizing direction of illuminating light diffracted in the x direction or the y direction by the pattern is in a 45° direction relative to the pattern, and therefore, an imaging situation the same as that in randomly polarized light is brought about. Therefore, the contrast is similar to that of the prior art.

[0019]

In contrast thereto, when the pattern formed at the reticle 12 is the line and space pattern 9 which is long in the direction orthogonal to x' axis of Fig. 1(a), the 1st-order diffracted light of the illuminating light 15A from the small light source 11A is incident on the pupil of the projection optical system 13. Further, in Fig. 1(b), the x' axis is in

parallel with paper face. Here, as shown by Fig. 1(b), both of the 0th-order diffracted light 15A and the 1st-order diffracted light 15B of the illuminating light 15A are beams of S polarized light a polarizing direction (a direction of oscillating an electric vector) is in parallel with a surface of the wafer 14 (light in which the electric vector is oscillated in a direction orthogonal to paper face of Fig. 1(b)). Therefore, an interference effect on the wafer 14 becomes larger than that in the case of randomly polarized light, and an image having a high contrast is produced. Therefore, when diffracted in the  $x'$  direction as explained in reference to Fig. 9, a drawback of the prior art that a portion of diffracted light is emitted to outside of the pupil is compensated for.

[0020]

Here, a difference in an intensity distribution by a polarizing direction will be simply described as follows. In Fig. 2, a behavior of an image face, that is, a vicinity of the surface of the wafer 14 is shown by using P polarized light (light in which a direction of oscillating the electric vector is disposed at inside of the incidence plane) and S polarized light (light in which the direction of oscillating the electric vector is orthogonal to the incidence plane). When angles of incidence of the 0th-order diffracted light 15A and the 1st-order diffracted light 16A are respectively designated by notations  $\theta_0$  and  $\theta_1$ , an intensity distribution  $I_s(x)$  on the

image face in the case of S polarized light is simply shown as follows by using an amplitude distribution  $U_s(x)$ .

[Equation 5]

$$I_s(x) = |U_s(x)|^2,$$

$$U_s(x) = a_0 \cdot \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_0)x] \\ + a_1 \cdot \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_1)x]$$

[0021]

Therefore, the intensity distribution  $I_s(x)$  becomes as follows.

[Equation 6]

$$I_s(x) = a_0^2 + a_1^2 + 2a_0a_1 \cdot \cos[(2\pi/\lambda)(\sin\theta_0 - \sin\theta_1)x]$$

Here, coefficients  $a_0$  and  $a_1$  respectively designate intensities (amplitudes) of the 0th-order diffracted light and the 1st-order diffracted light. In a case of a line and space pattern having a pitch in the  $x'$  direction, in two of the four small light sources, only 0th-order diffracted light passes through the projection optical system 13, and therefore, a contrast  $C_s$  of S polarized light becomes as follows.

[Equation 7]

$$C_s = 2a_0a_1/(2a_0^2 + a_1^2)$$

[0022]

On the other hand, in a case of P polarized light, an  $x$  component and a  $z$  component of polarized light need to be considered. By expressing an amplitude distribution  $U_p(x)$  on the image face in the case of P polarized light by a vector,



the following equation indicating the x component and the z component is provided.

[Equation 8]

$$\begin{aligned} U_p(x) = & (a_0 \cdot \exp [-i(2\pi/\lambda) (\sin\theta_0)x] \cdot \cos\theta_0 \\ & + a_1 \cdot \exp [-i(2\pi/\lambda) (\sin\theta_1)x] \cdot \cos\theta_1, \\ & + a_0 \cdot \exp [-i(2\pi/\lambda) (\sin\theta_0)x] \cdot \sin\theta_0 \\ & + a_1 \cdot \exp [-i(2\pi/\lambda) (\sin\theta_1)x] \cdot \sin\theta_1) \end{aligned}$$

[0023]

Therefore, an intensity distribution  $I_p(x)$  on the image face in the case of P polarized light becomes as follows.

[Equation 9]

$$\begin{aligned} I_p(x) = & |U_p(x)|^2 \\ = & a_0^2 + a_1^2 + 2a_0a_1 \times (\cos\theta_0\cos\theta_1 + \sin\theta_0\sin\theta_1) \\ & \times \cos [(2\pi/\lambda) (\sin\theta_0 - \sin\theta_1)x] \end{aligned}$$

[0024]

Therefore, a contrast  $C_p$  in the case of P polarized light becomes as follows.

[Equation 10]

$$C_p = 2 a_0a_1\cos(\theta_0 - \theta_1)/(2a_0^2 + a_1^2)$$

It is known that by comparing (Equation 7) and (Equation 10), in the case of P polarized light, the contrast becomes the contrast of S polarized light multiplied by  $\cos(\theta_0 - \theta_1)$ . For example, consider a case of  $\sin\theta_0 = 0.4$ ,  $\sin\theta_1 = -0.4$ ,  $\cos(\theta_0 - \theta_1) = 0.68$ , and a significant difference is produced between the case of P polarized light and the case of S polarized light.

Randomly polarized light is considered to be an average of P polarized light and S polarized light, and therefore, the contrast is  $(1/2)(1 + 0.68) = 0.84$ .

[0025]

In this way, by constituting S polarized light, the significant difference is produced in the contrast. That is, it is known that when illuminating light in a polarized state as shown by Fig. 1(a) is used, an increase in the contrast relative to that of the prior art by about 20 % is anticipated for the line and space pattern the edge of which is in parallel with the direction of being intersected with x axis and y axis by 45°, which is effective for the fine pattern.

[0026]

Further, although an explanation has been given by taking the example of the plural inclined illumination method, when the invention is applied to, for example, an annular illumination method, as shown by, for example, Fig. 7(a), light from a light source in a shape of an annular of the equivalent light source portion 10 may be converted into light linearly polarized respectively in a direction orthogonal to the incidence plane, that is, a tangential direction of a circle centering on the optical axis.

[0027]

Next, according to the second illumination optical system, as shown by, for example, Fig. 3, in order to form

inclined light, a secondary light source made to be eccentric by illuminating light from the light source is formed. When the secondary light source is irradiated as the equivalent light source 10 of Fig. 1(a), the above-described explanation is also applied to the invention as it is.

[0028]

[Embodiment]

An explanation will be given of a first embodiment of a projection exposure apparatus including the illumination optical apparatus according to the invention in reference to Fig. 3 and Fig. 4 as follows. The example applies the invention to an illumination optical system of the projection exposure apparatus. Fig. 3 shows the illumination optical system of the projection exposure apparatus of the embodiment, in Fig. 3, illuminating light from the light source 20 comprising a mercury lamp is condensed by an elliptical mirror 21, and the condensed illuminating light is incident on a fly's eye lens 23 (optical integrator) by way of a collimator lens 22. A focal plane on an emission side (reticle side) of the fly's eye lens 23 is formed with a secondary light source in a plane-like shape.

[0029]

The spatial filter 24 formed with 4 pieces of openings eccentric to the optical axis AX is provided at a vicinity of an emission end of the fly's eye lens 23. Further, polarizers

25A through 25D are respectively attached to reticle sides (or may be on sides of the light source 20) of 4 pieces of the openings of the spatial filter 24. However, in Fig. 3, only the polarizers 25B and 25C appear. Fig. 4(a) is a front view viewing the spatial filter 24 of Fig. 3 from the reticle side, Fig. 4(b) is a sectional view taken along a line AA of Fig. 4(a), as shown by Figs. 4(a) and (b), the spatial filter 24 is formed with 4 pieces of openings 24a through 24d at intervals of  $90^\circ$  centering on the optical axis AX, and the openings are respectively covered by the polarizers 25A through 25D. Further, polarizing directions of the polarizers 25A through 25D are respectively set to a tangential direction of a circumference centering on the optical axis AX as shown by arrow marks. Therefore, beams of illuminating light emitted from the openings 24a through 24d of the spatial filter 24 are respectively polarized linearly in directions substantially in parallel with a tangential line direction of a circumference centering on the optical axis AX.

[0030]

Referring back to Fig. 3, 4 pieces of secondary light sources eccentric to the optical axis AX are formed by the spatial filter 24. Beams of illuminating light emitted from 4 pieces of the secondary light sources are incident on the reticle 12 by way of the condenser lens system 26 after passing through the respective polarizers 25A through 25D. Further,

the spatial filter 24 (polarizers 25A through 25D) is provided at a position of a front side focal point (light source side focal point) of the condenser lens system 26, and a pattern forming face of the reticle 12 is brought into a relationship of Fourier transformation with a face of arranging the spatial filter 24 with regard to the condenser lens system 26. In this case, for example, the chief rays 27B and 27C emitted from the openings 24b and 24c of the spatial filter 24 are respectively incident on the reticle 12 obliquely to the optical axis AX by way of the condenser lens system 26. Further, the chief rays 27B and 27C are respectively polarized linearly in a direction orthogonal to the incidence plane (paper face direction) with regard to the reticle 12.

[0031]

When such an illumination optical system is used, as explained in the explanation of the principle of the invention, in a case in which there is formed, for example, on the reticle 12, a line and space pattern having an edge which is long in a direction in parallel with or orthogonal to a linear line connecting the openings 24a and 24c of Fig. 4(a), the pattern can be projected onto the wafer 14 by passing the projection optical system 13 under a contrast more excellent than that of the prior art. Here, according to the apparatus of Fig. 3, the incidence side face of the fly's eye lens 23 and an object plane (reticle 12 or wafer 14) are constituted to be conjugate

with each other, and the emission side face (secondary light source 10) of the fly's eye lens 23 and a pupil plane 10A of the projection optical system 13 are constituted to be conjugate with each other. Further, other than the constitution of Fig. 3, other large polarizer may be arranged between the fly's eye lens 23 and the spatial filter 24, a portion or all of 4 pieces of the openings 24a through 24d of the spatial filter 24 may be arranged with a half-wave plate(s), and rotating angles of the respective half-wave plates may be adjusted. Also thereby, illuminating light polarized in a tangential direction of a circumference centering on the optical axis AX as shown by Fig. 4(a) is provided. In this case, depending on the polarizing direction of the other large polarizer, it is not necessary to provide the half-wave plates at all of the openings of the spatial filters 24.

[0032]

Further, by using, for example, a laser light source for emitting a linearly polarizer laser beam as a light source, when a total of the spatial filter 24 of Fig. 3 constituting the equivalent light source is illuminated by linearly polarized illuminating light, a portion or a total of 4 pieces of the openings 24a through 24d of the spatial filter 24 may be provided with a half-wave plate(s) in a pertinent rotational direction. In this case, although the half-wave plates may be provided at portions of the openings, by providing the

half-wave plates for a total of the openings, an effect is achieved in reducing a variation in illumination. When the polarizing direction is adjusted by using the half-wave plates in this way, there is not loss of illuminating light, and therefore, an illumination efficiency is excellent.

[0033]

Further, when the spatial filter 24 of Fig. 3 constituting the equivalent light source is illuminated by using an apparatus of generating circularly polarized illuminating light as a whole, the respective openings of the spatial filter 24 may be provided with quarter-wave plates in pertinent rotational directions.

[0034]

Next, a second embodiment of the invention will be explained in reference to Fig. 5. Fig. 5 shows a projection exposure apparatus of the example, and in Fig. 5, illuminating light from the light source 20 becomes substantially a parallel light beam by way of the elliptical mirror 21, a folding mirror 28 and an input lens 29. A shutter 30 is arranged between the elliptical mirror 21 and the folding mirror 28, and by closing the shutter 30 by a drive motor 31, supply of illuminating light to the input lens 29 is stopped at any time. As the light source 1, other than a mercury lamp, an excimer laser light source for generating, for example, KrF laser light or the like can be used. When the excimer laser light source is used, in place

of an optical system of the elliptical mirror 21 through the input lens 29, a beam expander or the like is used.

[0035]

Further, successively from the input lens 29, a first polyhedron prism 32 having a recessed portion of a quadrangular prism shape (pyramid shape) and a second polyhedron prism 33 having a projected portion of a quadrangular prism shape (pyramid shape) are arranged. Illuminating light emitted from the second polyhedron prism 33 is split into 4 pieces of light beams at equal angles at a surrounding of the optical axis.

[0036]

The light beams split into 4 pieces are respectively made to be incident on a second group of fly's eye lenses 34A, 34B, 34C and 34D. Although in Fig. 5, only the fly's eye lenses 34A and 34B are shown, 2 pieces of the fly's eye lenses 34C and 34D are arranged in directions orthogonal to paper face of Fig. 5 by interposing the optical axis. Further, the light beam emitted from the fly's eye lens 34A is converted into a substantially parallel light beam by way of a guide optical system comprising lens systems 35A and 36A to be incident on a fly's eye lens 37A of a first group. Similarly, the light beam emitted from the fly's eye lens 34B of the second group is converted into a substantially parallel light beam by way of a guide optical system comprising lens systems 35B and 36B to be incident on a fly's eye lens 37B of the first group, and



the light beams emitted from the fly's eye lenses 34C and 34D of the second group are respectively incident on fly's eye lenses 37C and 37D of the first group by way of guide optical systems although illustration thereof is omitted.

[0037]

The first group of the fly's eye lenses 37A through 37D are arranged at intervals of  $90^\circ$  around the optical axis. Reticle side focal planes of the first group of the fly's eye lenses 37A through 37D are respectively formed with secondary light sources in a plane-like shape, and variable aperture stops 38A through 38D are respectively arranged at faces of forming the secondary light sources. Further, polarizers 39A through 39D are respectively arranged on reticle sides of the variable openings diaphragms 38A through 38D. Further, only the variable aperture stops 13A, 13B and the polarizers 39A, 39B appear in Fig. 5.

[0038]

Beams of illuminating light emitted by transmitting through the polarizers 39A through 39D from the variable aperture stops 38A through 38D are respectively condensed pertinently by way of an auxiliary condenser lens 40, a mirror 41 and a main condenser lens 42 to illuminate the reticle 12 substantially by a uniform illuminance. The pattern of the reticle 12 is transcribed onto a wafer 14 on a wafer stage WS by the projection optical system 13 by a predetermined

reduction magnification  $\beta$ . Polarizing directions of the polarizers 39A through 39D are in parallel with a tangential direction of a circumference centering on the optical axis AX. For example, a chief ray 43A of the light beam emitted by transmitting through the polarizer 39A from the variable aperture stops 38A is incident on the reticle 12 obliquely to the optical axis AX in a state of being linearly polarized to a direction orthogonal to paper face. Further, the polarizers 39A through 39D shown in Fig. 5 are substantially provided at a position of a front side focal point (light source side focal point) of a condenser lens system of a system synthesized with the auxiliary condenser lens 40 and the main condenser lens, and the position is substantially conjugate with the pupil plane 10A of the projection optical system 13.

[0039]

Also by the example, a contrast of a projected image on the wafer 14 of a line and space pattern in a predetermined direction on the reticle 12 can be improved. Further, since the second group of the fly's eye lenses 34A through 34D are provided other than the first group of the fly's eye lenses 37A through 37D, uniformity of the illuminance on the reticle 12 is further improved. Further, in Fig. 5, the polarizers 39A and 39B may be arranged at positions 44A and 44B respectively between, for example, relay optical systems, further, may be arranged at other positions. Further, when

the illuminating light from the light source 20 has already been constituted by linearly polarized light, in place of polarizers 39A and 39B, half-wave plates may be used.

[0040]

Next, a third embodiment of the invention will be explained in reference to Fig. 6 and Fig. 7. The embodiment shows an example of providing a space filter 240 having an opening 240a in a shape of an annular as shown by Fig. 6(a) on the emission side of the fly's eye lens 23 in place of the spatial filter 24 of the first embodiment shown in Fig. 3 explained above. By arranging the spatial filter 240, the emission side of the fly's eye lens 23 is formed with a secondary light source 45 in an annular shape eccentric from the optical axis AX as shown by Fig. 6(a), and light from the secondary light source 45 in the ring band shape reaches the pupil plane 10A (incident pupil plane) of the projection optical system 13 by way of the condenser lens 26, the reticle 12 as shown by Fig. 3. Here, when behaviors of the 0th-order diffracted light and the 1st-order diffracted light by a diffracting operation of the line and space pattern of the reticle 12 are considered to make the explanation simple, as shown by Fig. 6(b), the pupil plane 10A of the projection optical system 13 is formed with 0th-order diffracted light 45A in an annular shape similar to the ring band light source 45 and 1st-order diffracted light 45B in an annular shape constituted by

transversely shifting the 0th-order diffracted light 45A in the ring band shape.

[0041]

In this case, according to the example, as shown by Fig. 7(a), a polarizer 250 in an annular shape for polarizing illuminating light emitted from the secondary light source 45 in the annular shape of the equivalent light source portion 10 in a tangential direction of a circumference centering on the optical axis AX is respectively provided on the spatial filter 240. Thereby, an image having a high contrast can be provided for a fine pattern. Further, as shown by Fig. 7(b), by using the spatial filter 240 having openings for dividing the light source in the ring-like shape into respective zones in a circular arc shape, polarizers 250A through 250H may be provided on the respective zones to constitute linearly polarized illuminating light in a tangential direction of a circumference constituting an axis thereof by the optical axis AX for the respective zones.

[0042]

Further, the invention is not limited to the above-described embodiments but can naturally adopt various constitutions within the range not deviated from the gist of the invention.

[0043]

[Advantage of the invention]

According to the first and the second illumination optical apparatus of the invention, the illuminating light inclinedly incident on the object is polarized in the direction orthogonal to the incidence plane, and therefore, in a case in which the pattern on the object is a line and space pattern constituting the longitudinal direction by the direction orthogonal to the incidence plane of the illuminating light, when the pattern of the object is projected by the projection optical system, an advantage of capable of considerably improving the contrast of the image is achieved.

[Brief Description of the Drawings]

[Fig. 1]

(a) is a view showing an equivalent light source provided for an explanation of a principle of an illumination optical apparatus according to the invention, (b) is an outline constitution view showing a projection exposure apparatus using the equivalent light source of Fig. 1(a).

[Fig. 2]

Fig. 2 is a view provided for the explanation of the principle of the invention.

[Fig. 3]

Fig. 3 is a constitution view showing an illumination optical system of a projection exposure apparatus according to a first embodiment of the invention.

[Fig. 4]

(a) is a front view showing a spatial filter 24 and polarizers 25A through 25D of Fig. 3, (b) is a sectional view taken along a line AA of Fig. 4(a).

[Fig. 5]

Fig. 5 is a constitution view showing a projection exposure apparatus according to a second embodiment of the invention.

[Fig. 6]

(a) is a view showing an equivalent light source and a spatial filter 240 according a third embodiment of the invention, (b) is a view showing a behavior of diffracted light at a pupil of a projection optical system 13 by using the spatial filter 240.

[Fig. 7]

(a) is a view showing a polarized state of illuminating light from an equivalent light source of the third embodiment, (b) is a view showing an equivalent light source of a modified example of the third embodiment.

[Fig. 8]

(a) is a view showing an equivalent light source of plural inclined illumination, (b) is a view showing a behavior of diffracted light and the pupil of the projection optical system 13 when the equivalent light source of Fig. 8(a) is used.

[Fig. 9]

Fig. 9 is a view showing a case of illuminating a specific

pattern by plural inclined illumination.

[Description of Reference Numerals and Signs]

- 10     equivalent light source
- 11A through 11D    small light sources
- 12     reticle
- 13     projection optical system
- 14     wafer
- 20     light source
- 22     collimator lens
- 23     fly's eye lens
- 24     spatial filter
- 24a through 24d    openings
- 25A through 25D    polarizers
- 26     condenser lens system

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-53120

(43)公開日 平成6年(1994)2月25日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 3 F 7/20	5 2 1	9122-2H		
		7352-4M	H 0 1 L 21/ 30	3 1 1 S

審査請求 未請求 請求項の数2(全 8 頁)

(21)出願番号 特願平4-219782

(22)出願日 平成4年(1992)7月27日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 渋谷 真人

東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式  
会社ニコン大井製作所内

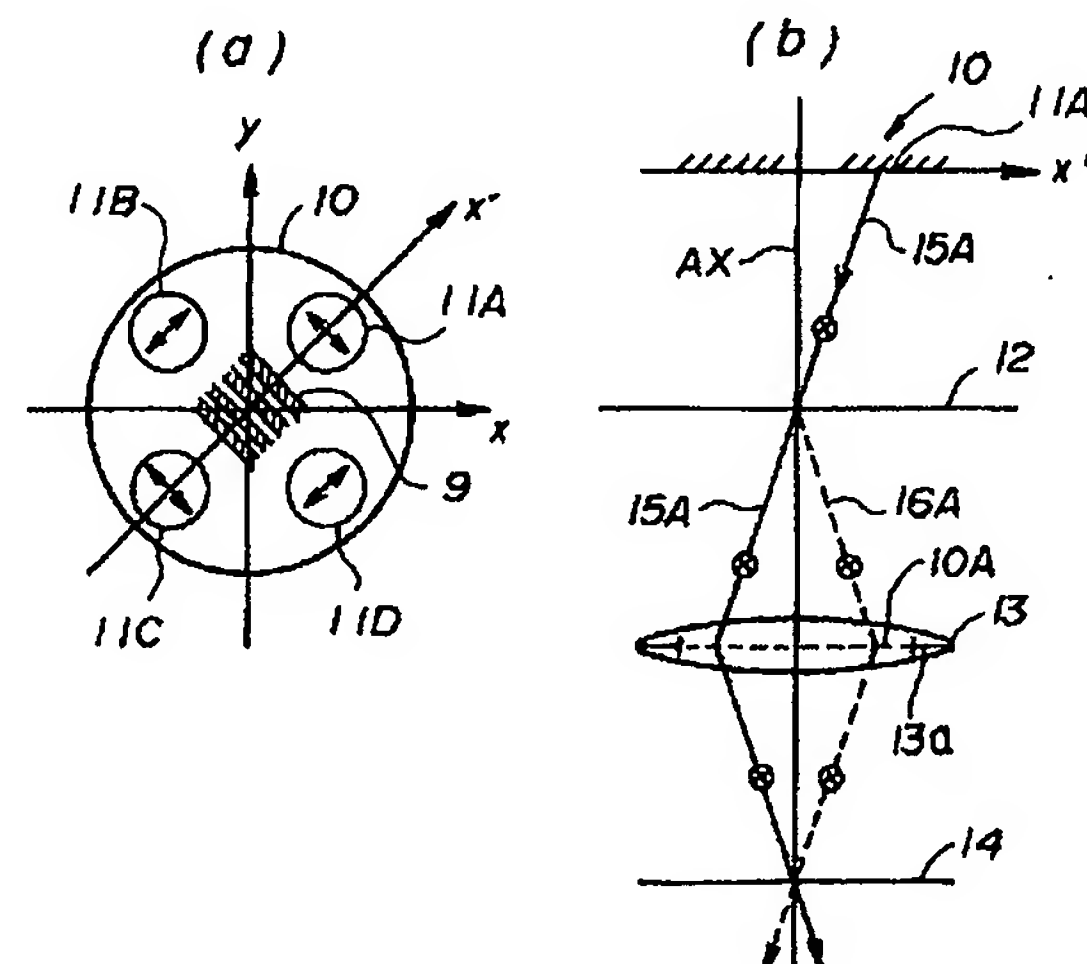
(74)代理人 弁理士 大森 聡

(54)【発明の名称】 照明光学装置

(57)【要約】

【目的】 複数傾斜照明を行う場合に、レチクルのパターンがその照明光の入射面に垂直な方向を長手方向とするライン・アンド・スペースパターンであるようなときに、その像のコントラストを改善する。

【構成】 2次光源形成部としての空間フィルター24の4個の開口24a~24dをそれぞれ偏光板25A~25Dで覆い、偏光板25A~25Dの偏光方向を光軸AXを軸とする円周の接線方向に設定する。





## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 照明光学系からの照明光によって物体上の所定領域を均一に照明する照明光学装置において、前記照明光学系は、前記所定領域を斜め方向から照明する傾斜光を形成する傾斜光形成手段と、該傾斜光を変換して、前記所定領域を傾斜照明する前記傾斜光の入射面に対し直交した方向に直線偏光する照明光を形成する偏光手段とを有することを特徴とする照明光学装置。

【請求項2】 照明光を供給する光源と該照明光で物体上の所定領域を均一に照明する集光光学系とを有する照明光学装置において、前記照明光によって前記集光光学系の光軸に対し偏心した2次光源を形成して前記所定領域を斜め方向から照明する傾斜光形成手段を前記光源と前記集光光学系との間に配置し、

該傾斜光を変換して、前記所定領域を傾斜照明する傾斜光の入射面に対し直交した方向に直線偏光する照明光を形成する偏光手段を前記傾斜光形成手段と前記集光光学系との間に配置したことを特徴とする照明光学装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、例えば半導体素子又は液晶表示素子等を製造する際に使用される投影露光装置の照明系に適用して好適な照明光学装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】半導体素子又は液晶表示素子等をフォトリソグラフィ技術を用いて製造する際に、フォトマスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）のパターンを感光基板上に転写する投影露光装置が使用されている。斯かる投影露光装置においては、半導体素子等の高集積化に伴い、より微細なパターンを高解像度で焼き付けることが要求されている。これを実現する方法として、レチクルのパターン領域の異なる透明部からの光の干渉効果を利用する位相シフトレチクル法が特公昭62-50811号公報に開示されている。この方法をライン・アンド・スペース像に応用すると基本的に0次回折光がなくなり、±1次回折光のみによる結像となり、同一の開口数の投影光学系でも従来のレチクルの場合よりも微細なライン・アンド・スペース像を高い解像度で焼き付けることができる。

【0003】また、より解像度を高めるための別のアプローチとして、照明光学系を工夫して、微細なパターンを高い解像度で且つ比較的深い焦点深度で焼き付ける方法が本出願人により提案されている（例えば1992年3月応用物理学関係連合講演会予稿集30-a-NA-3, 4参照）。以下ではその方法を「複数傾斜照明法」と呼び、図8を参照してその方法につき説明する。先ず図8（a）は複数傾斜照明法を適用した照明光学系における2次光源部等の等価光源部10を示し、この図8

（a）において、直交座標系を形成するx軸及びy軸に

対してそれぞれ45°で交差する軸x'及びこの軸x'とy軸に関して対称な軸に沿って4個の小光源11A～11Dが配置されている。この小光源11A～11Dの配列は、転写対象とするレチクルのパターンが主にx軸に平行な長いエッジ又はy軸に平行な長いエッジを有するライン・アンド・スペースパターンの場合に適している。

【0004】図8（b）はその図8（a）の等価光源部10を光源とする投影露光装置の概略構成を示し、この図8（b）において、等価光源部10の小光源11Aからの照明光の主光線15Aが図示省略したコンデンサーレンズ系を介してレチクル12に光軸AXに対して斜めに照射される。等価光源部10は投影光学系13の瞳面（入射瞳面）10Aと共役であり、この瞳面には開口絞り13aが設けられている。そのレチクル12からは0次回折光（これも符号15Aで表す）及び1次回折光16Aが光軸AXに対してほぼ対称に射出され、これら0次回折光15A及び1次回折光16Aは投影光学系13を経てをほぼ同一の入射角θで感光基板としてのウエハ14に入射する。この場合、0次回折光15Aと1次回折光とが光軸AXに対して対称に瞳の周縁近くを通過するため、投影光学系13の性能限界までの解像度が得られる。

【0005】また、従来のように0次回折光がウエハ14に垂直に入射する方式では、ウエハ14のデフォーカス量に対する0次回折光の波面収差と他の回折光の波面収差とが大きく異なることから、焦点深度が浅くなっている。これに対して、図8（b）の構成では、0次回折光と1次回折光とが等しい入射角でウエハ14に入射するため、ウエハ14が投影光学系13の焦点位置の前後にあるときの0次回折光と1次回折光との波面収差は相等しく、焦点深度が深くなっている。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】その複数傾斜照明法では、x軸方向又はy軸方向のライン・アンド・スペースパターン8であれば有効である。これに対して、図9に示すように、長いエッジがx軸又はy軸に対して45°の方向のライン・アンド・スペースパターン9の場合は、10Aが投影光学系の瞳であるとする、図8

（a）の4つの小光源11A～11Dのうちの2つの小光源11B及び11Dからの回折光は、0次回折光15B及び15Dのみが投影レンズの瞳10Aを通過し、±1次回折光16B及び16Dは瞳10Aを通過しないため、ウエハ14上でパターンを形成することなく、単にウエハ14を一様に照明することになる。その結果、ウエハ14上でのパターンのコントラストが低下することとなる。

【0007】このことを簡単な数値計算で示す。0次回折光の強さに対する±1次回折光の強さをaとし、各小光源11A～11Dは点光源とみなす。このとき、y軸

方向に長いライン・アンド・スペースパターンの場合の  
x軸上の像強度分布  $I(x)$  は各小光源による像強度分

$$I(x) = 4 \{1 + a^2 + 2a \cdot \cos[(4\pi/\lambda)(\sin\theta)x]\}$$

【0008】ここで、入射角  $\theta$  は、図8(b)に示すように、0次回折光又は±1次回折光が光軸AXとなす角である。これに対して、x軸又はy軸に45°で交差する方向に長いライン・アンド・スペースパターンの場合

$$I(x') = 2 \{1 + a^2 + 2a \cdot \cos[(4\pi/\lambda)(\sin\theta)x]\} + 2 \{1\}$$

$$= 4 \{1 + (a^2/2) + a \cdot \cos[(4\pi/\lambda)(\sin\theta)x]\}$$

【0009】(数1)及び(数2)から各々の強度分布のコントラスト  $C_x$  及び  $C_{x'}$  を求めると、次のように

$$C_x = 2a / (1 + a^2), \quad C_{x'} = a / (1 + a^2/2)$$

【0010】この場合、次式が成立する。

$$C_x - C_{x'} = a / \{(1 + a^2)(1 + a^2/2)\} > 0$$

従って、次式が成立する。

【数4】  $C_x > C_{x'}$

【0011】従って、x軸に45°で交差する方向に長いパターンコントラストの低下が示される。例えばラインとスペースとの幅が等しい場合には、±1次回折光の強さ  $a$  は  $2/\pi$  となるので、次式のようになる。

$$C_x = 0.906, \quad C_{x'} = 0.529$$

【0012】なお、上述の説明では複数傾斜照明法の場合を例として説明したが、例えば輪帯照明法等を使用した場合でも、像のコントラストをより改善することが望まれている。本発明は斯かる点に鑑み、光軸に対して傾斜した照明光を積極的に利用してレチクル等を照明する照明光学装置において、そのレチクル等のパターンがその照明光の入射面に垂直な方向を長手方向とするライン・アンド・スペースパターンであるような場合に、投影光学系でそのレチクル等のパターンを投影したときに照明光学装置側の工夫でその像のコントラストを改善できるようにすることを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明による第1の照明光学装置は、例えば図3に示すように、照明光学系からの照明光によって物体(12)上の所定領域を均一に照明する照明光学装置において、その照明光学系は、その所定領域を斜め方向から照明する傾斜光(27B, 27C)を形成する傾斜光形成手段(24)と、この傾斜光を変換して、その所定領域を傾斜照明するその傾斜光の入射面に対し直交した方向に直線偏光する照明光を形成する偏光手段(25B, 25C)とを有するものである。

【0014】また、第2の照明光学装置は、例えば図3に示すように、照明光を供給する光源(20)とこの照明光で物体(12)上の所定領域を均一に照明する集光光学系(26)とを有する照明光学装置において、その照明光によってその集光光学系の光軸に対し偏心した2次光源を形成してその所定領域を斜め方向から照明する

布の和として次のようになる。

【数1】

に、45°方向の座標軸を  $x'$  軸とすると、強度分布  $I(x')$  は次のようになる。

【数2】

なる。

【数3】

傾斜光形成手段(24)をその光源(20)とその集光光学系(26)との間に配置し、この傾斜光を変換して、その所定領域を傾斜照明する傾斜光の入射面に対し直交した方向に直線偏光する照明光を形成する偏光手段(25B, 25C)をその傾斜光形成手段(24)とその集光光学系(26)との間に配置したものである。

【0015】

【作用】以下、本発明の原理につき偏心した4個の小光源からの照明光で物体を照明する複数傾斜照明法を例にとって説明する。先ず、本発明の第1の照明光学装置によれば、例えば図3に示すように、物体(12)の所定領域を斜め方向から照明する傾斜光(27B, 27C)が形成され、これら傾斜光(27B, 27C)はそれぞれ物体(12)に対する入射面(紙面)に垂直な方向に直線偏光(入射面に垂直な方向に電気ベクトルが振動)している。なお、直線偏光とは、光波の電気ベクトルの振動方向が一平面内にある状態を意味し、電気ベクトルの振動方向を直線偏光の方向と定義する。また、入射面とは、光が媒質の境界面に達した時に、その点での面の法線と光の入射方向とを含む面の事と定義する。その図3の照明光学装置を簡略化すると図1のようになる。

【0016】図1(a)は図3の照明光学装置の2次光源部等の等価光源部10を示し、この図1(a)において、直交座標系を形成するx軸及びy軸に対してそれぞれ45°で交差する軸  $x'$  及びこの軸  $x'$  とy軸に関して対称な軸に沿って4個の小光源11A~11Dが配置されている。

【0017】図1(b)はその図3の照明光学装置を用いた投影露光装置の概略構成を示し、この図1(b)において、等価光源部10は図1(a)の等価光源部と等しい。その等価光源部10の小光源11Aからの露光光の主光線15Aが図示省略したコンデンサーレンズ系を介してレチクル12に光軸AXに対して斜めに照射される。その主光線15Aが図3の傾斜光(27B, 27C)に対応する。その主光線15Aの入射面は図1

(b)の紙面に平行であるため、本発明によれば、その主光線15Aは図1(b)の紙面に垂直な方向に直線偏光(紙面に垂直な方向に電気ベクトルが振動)してレチクル12に入射する。同様に、図1(a)において、各小光源11B~11Dからの光は、図1(a)の矢印の方向即ち、レチクル12に対する入射面に垂直な方向に直線偏光して図1(b)のレチクル12に入射する。

【0018】また、レチクル12からの0次回折光(これをも符号15Aで表す)及び1次回折光16Aは投影光学系13を経てウエハ14上に入射する。先ず、そのレチクル12に形成されたパターンが、従来例に好適なパターンである図1(a)のx軸又はy軸に平行な方向に長いライン・アンド・スペースパターンであるとする、そのパターンによりx方向又はy方向に回折された照明光は、偏光方向がそのパターンに対して45°方向であるので、ランダム偏光と同じ結像状況である。従って、コントラストは従来例と同様である。

【0019】これに対して、そのレチクル12に形成されたパターンが、図1(a)のx'軸に垂直な方向に長いライン・アンド・スペースパターン9であるとする、小光源11Aからの照明光15Aの1次回折光が投影光学系13の瞳内に入ることになる。尚、図1(b)

$$I_s(x) = |U_s(x)|^2, \\ V_s(x) = a_0 \cdot \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_0)x] \\ + a_1 \cdot \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_1)x]$$

【0021】従って、強度分布 $I_s(x)$ は次のようになる。

$$I_s(x) = a_0^2 + a_1^2 \\ + 2a_0 a_1 \cdot \cos\{(2\pi/\lambda)(\sin\theta_0 - \sin\theta_1)x\}$$

ここで、係数 $a_0$ 及び $a_1$ はそれぞれ0次回折光及び1次回折光の強さ(振幅)である。x'方向にピッチを持つライン・アンド・スペースパターンの場合、4つの小光源の内、2つは0次回折光しか投影光学系13を通過しないのでS偏光のコントラスト $C_s$ は次のようになる。

$$U_p(x) = (a_0 \cdot \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_0)x] \cdot \cos\theta_0 \\ + a_1 \cdot \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_1)x] \cdot \cos\theta_1, \\ a_0 \cdot \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_0)x] \cdot \sin\theta_0 \\ + a_1 \cdot \exp[-i(2\pi/\lambda)(\sin\theta_1)x] \cdot \sin\theta_1)$$

【0023】従って、P偏光の場合の像面上の強度分布 $I_p(x)$ は次のようになる。

$$I_p(x) = |U_p(x)|^2 \\ = a_0^2 + a_1^2 + 2a_0 a_1 \\ \times (\cos\theta_0 \cos\theta_1 + \sin\theta_0 \sin\theta_1) \\ \times \cos\{(2\pi/\lambda)(\sin\theta_0 - \sin\theta_1)x\}$$

【0024】従って、P偏光の場合のコントラスト $C_p$ は次のようになる。

$$C_p = 2a_0 a_1 \cos(\theta_0 - \theta_1) / (2a_0^2 + a_1^2)$$

(数7)と(数10)とを比較して、P偏光の場合は、コントラストが $\cos(\theta_0 - \theta_1)$ 倍となることが分

ではx'軸は紙面と平行になっている。ここで、図1(b)に示すように、その照明光15Aの0次回折光15A及び1次回折光15Bは共に偏光方向(電気ベクトルの振動する方向)がウエハ14の表面で平行なS偏光(図1(b)の紙面に垂直な方向に電気ベクトルが振動する光)である。従って、ウエハ14上における干渉効果がランダム偏光のときよりも大きくなり、高コントラストの像が作られる。このため、図9を用いて説明したようにx'方向に回折された場合に、回折光の一部が瞳外に出てしまうことによりコントラストが低下するという従来の不都合が補われることになる。

【0020】ここで、偏光方向による強度分布の差を簡単に以下に述べる。図2では、像面、即ちウエハ14の表面付近の様子をP偏光(電気ベクトルの振動方向が入射面内にある光)とS偏光(電気ベクトルの振動方向が入射面と垂直な光)を用いて示してある。0次回折光15A及び1次回折光16Aの入射角をそれぞれ $\theta_0$ 及び $\theta_1$ とすると、S偏光の場合の像面上の強度分布 $I_s(x)$ は振幅分布 $U_s(x)$ を用いて次のように簡単に示される。

【数5】

【数6】

【数7】 $C_s = 2a_0 a_1 / (2a_0^2 + a_1^2)$

【0022】一方、P偏光の場合は、偏光のx成分と、z成分とを考えなくてはならない。P偏光の場合の像面上の振幅分布 $U_p(x)$ をベクトルで表して、x成分とz成分とを示すと次式が得られる。

【数8】

【数9】

【数10】

かる。例えば、 $\sin\theta_0 = 0.4$ 、 $\sin\theta_1 = -0.4$ の場合を考えると、 $\cos(\theta_0 - \theta_1) = 0$ 。



68となり、P偏光の場合とS偏光の場合とでは大きな差がつく。ランダム偏光は、P偏光とS偏光との平均と考えられるので、コントラストは $(1/2)(1+0.68)=0.84$ である。

【0025】このように、S偏光とすることにより、コントラストに大きな差が生じる。即ち、図1(a)のような偏光状態の照明光を使用すると、x軸及びy軸に対して45°で交差する方向にエッジが平行なライン・アンド・スペースパターンに対して、従来よりも2割程度のコントラストの増加が見込まれ、微細パターンに有効であることが分かる。

【0026】なお、これまでは複数傾斜照明法を例にとって説明したが、本発明を例えば輪帯照明法に適用すると、例えば図7(a)に示すように、等価光源部10の輪帯状の光源からの光をそれぞれ入射面に垂直な方向、即ち光軸を中心とした円の接線方向に直線偏光する光に変換すればよい。

【0027】次に、本発明の第2の照明光学装置によれば、例えば図3に示すように、傾斜光を形成するのに、光源からの照明光により偏心した2次光源が形成されている。その2次光源を例えば図1(a)の等価光源10とみなせば、上述の説明はそのまま本発明にも適用される。

【0028】

【実施例】以下、本発明による照明光学装置を備えた投影露光装置の第1実施例につき図3及び図4を参照して説明する。本例は投影露光装置の照明光学系に本発明を適用したものである。図3は本実施例の投影露光装置の照明光学系を示し、この図3において、水銀ランプよりなる光源20からの照明光が楕円鏡21で集光され、この集光された照明光がコリメータレンズ22を介してフライアイレンズ23(オブティカルインテグレータ)に入射する。フライアイレンズ23の射出側(レチクル側)の焦点面には面状の2次光源が形成される。

【0029】フライアイレンズ23の射出端付近に光軸AXに対して偏心した4個の開口が形成された空間フィルター24を設ける。また、この空間フィルター24の4個の開口のレチクル側(又は光源20側でもよい)にそれぞれ偏光板25A~25Dを被着する。但し、図3では偏光板25B及び25Cのみが現れている。図4

(a)は図3の空間フィルター24をレチクル側から見た正面図、図4(b)は図4(a)のAA線に沿う断面図であり、これら図4(a)及び(b)に示すように、空間フィルター24には光軸AXを中心として、90°間隔で4個の開口24a~24dが形成され、これら開口がそれぞれ偏光板25A~25Dで覆われている。また、それら偏光板25A~25Dの偏光方向はそれぞれ矢印で示すように、光軸AXを中心とした円周の接線方向に設定されている。従って、その空間フィルター24の開口24a~24dから射出される照明光は、それぞ

れ光軸AXを中心とした円周の接線方向にほぼ平行な方向に直線偏光している。

【0030】図3に戻り、空間フィルター24により光軸AXに対して偏心した4個の2次光源が形成される。それら4個の2次光源から射出された照明光はそれぞれ偏光板25A~25Dを通過した後に、コンデンサーレンズ系26を経てレチクル12に入射する。尚、コンデンサーレンズ系26の前側焦点(光源側焦点)位置には、空間フィルター24(偏光板25A~25D)が設けられており、レチクル12のパターン形成面はコンデンサーレンズ系26に関して空間フィルター24の配置面とフーリエ変換の関係にある。この場合、例えば空間フィルター24の開口24b及び24cから射出された主光線27B及び27Cはコンデンサーレンズ系26を経てそれぞれレチクル12上に光軸AXに対して斜めに入射する。また、これら主光線27B及び27Cはそれぞれレチクル12に対する入射面(紙面方向)に対して垂直な方向に直線偏光している。

【0031】このような照明光学系を使用すると、本発明の原理説明で説明したように、例えばレチクル12上に図4(a)の開口24aと24cとを結ぶ直線に対して平行又は垂直な方向に長いエッジを有するライン・アンド・スペースパターンが形成されている場合に、従来よりも良好なコントラストのもとでそのパターンを投影光学系13を通してウエハ14上に投影することが出来る。ここで、図3の装置では、フライアイレンズ23の入射側面と物体面(レチクル12又はウエハ14)とが共役に構成されており、フライアイレンズ23の射出側面(2次光源10)と投影光学系13の瞳面10Aとが共役に構成されている。なお、図3の構成の他に、フライアイレンズ23と空間フィルター24との間に別の大きな偏光板を配置し、空間フィルター24の4個の開口24a~24dの一部又は全部に1/2波長板を配置して、各1/2波長板の回転角を調整するようにしてもよい。これによっても、図4(a)に示すような、光軸AXを中心とする円周の接線方向に偏光した照明光が得られる。この場合、別の大きな偏光板の偏光方向によつては、1/2波長板は空間フィルター24のすべての開口に設ける必要はない。

【0032】更に、例えば光源として直線偏光のレーザービームが射出されるようなレーザー光源を使用することにより、等価光源となる図3の空間フィルター24の全体を直線偏光の照明光で照明する場合には、空間フィルター24の4個の開口24a~24dの一部または全部に適当な回転方向の1/2波長板を設けるだけでよい。この場合、一部の開口に1/2波長板を設けるだけでもよいが、全部の開口に1/2波長板を設けるほうが照明のバラツキを低減する上で効果がある。このように1/2波長板を使用して偏光方向を調整した場合には、照明光の損失がないので照明効率が良い。

【0033】また、全体として円偏光の照明光を発生する装置を用いて、等価光源となる図3の空間フィルター24を照明する場合には、空間フィルター24の各開口に適当な回転方向の1/4波長板を設けることがよい。

【0034】次に、本発明の第2実施例につき図5を参照して説明する。図5は本例の投影露光装置を示し、この図5において、光源20からの照明光は楕円鏡21、折り曲げミラー28及びインプットレンズ29を経てほぼ平行光束になる。その楕円鏡21と折り曲げミラー28との間にシャッター30を配置し、このシャッター30を駆動モーター31で閉じることにより、インプットレンズ29に対する照明光の供給を随時停止する。光源1としては、水銀ランプの外に、例えばKrFレーザー光等を発生するエキシマレーザー光源等を使用することができる。エキシマレーザー光源を使用する場合には、楕円鏡21～インプットレンズ29までの光学系の代わりにビームエクspander等が使用される。

【0035】そして、インプットレンズ29から順に、4角錐型（ピラミッド型）の凹部を有する第1の多面体プリズム32及び4角錐型（ピラミッド型）の凸部を有する第2の多面体プリズム33を配置する。この第2の多面体プリズム33から射出される照明光は、光軸を中心として光軸の周囲に等角度で4個の光束に分割されている。

【0036】これら4個に分割された光束をそれぞれ第2群のフライアイレンズ34A、34B、34C及び34Dに入射させる。図5ではフライアイレンズ34A及び34Bのみが示されているが、図5の紙面に垂直な方向に光軸を挟んで2個のフライアイレンズ34C及び34Dが配置されている。そして、フライアイレンズ34Aから射出された光束は、レンズ系35A及び36Aよりなるガイド光学系を介してほぼ平行光束に変換されて第1群のフライアイレンズ37Aに入射する。同様に、第2群のフライアイレンズ34Bを射出した光束は、レンズ系35B及び36Bよりなるガイド光学系を介してほぼ平行光束に変換されて第1群のフライアイレンズ37Bに入射し、図示省略するも、第2群のフライアイレンズ34C及び34Dを射出した光束は、それぞれガイド光学系を介して第1群のフライアイレンズ37C及び37Dに入射する。

【0037】第1群のフライアイレンズ37A～37Dは光軸の回りに90°間隔で配置されている。第1群のフライアイレンズ37A～37Dのレチクル側焦点面にはそれぞれ面状の2次光源が形成されるが、それら2次光源の形成面にそれぞれ可変開口絞り38A～38Dを配置する。更に、これら可変開口絞り38A～38Dのレチクル側にそれぞれ偏光板39A～39Dを配置する。なお、図5では可変開口絞り13A、13B及び偏光板39A、39Bのみが現れている。

【0038】それら可変開口絞り38A～38Dから偏

光板39A～39Dを透過して射出した照明光は、それぞれ補助コンデンサーレンズ40、ミラー41及び主コンデンサーレンズ42を経て適度に集光されてレチクル12をほぼ均一な照度で照明する。そのレチクル12のパターンが投影光学系13によりウエハステージWS上のウエハ14に所定の縮小倍率 $\beta$ で転写される。それら偏光板39A～39Dの偏光方向は、光軸AXを中心とする円周の接線方向に平行である。例えば可変開口絞り38Aから偏光板39Aを透過して射出される光束の主光線43Aは、紙面に垂直な方向に直線偏光した状態でレチクル12上に光軸AXに対して斜めに入射する。なお、図5に示した偏光板39A～39Dは、実質的に、補助コンデンサーレンズ40と主コンデンサーレンズとの合成系のコンデンサーレンズ系の前側焦点（光源側焦点）位置に設けられており、この位置は実質的に投影光学系13の瞳面10Aと共役である。

【0039】本例によっても、レチクル12上の所定の方向のライン・アンド・スペースパターンのウエハ14上の投影像のコントラストを改善することができる。更に、第1群のフライアイレンズ37A～37Dの他に第2群のフライアイレンズ34A～34Dが設けられているので、レチクル12上の照度の均一性が更に改善されている。なお、図5において、偏光板39A及び39Bはそれぞれ例えばリレー光学系の間の位置44A及び44Bに配置してもよく、更に他の位置に配置してもよい。また、光源20からの照明光が既に直線偏光であるような場合には、偏光板39A及び39Bの代わりに1/2波長板を使用してもよい。

【0040】次に、本発明の第3実施例につき図6及び図7を参照して説明する。本実施例は、先に説明した図3に示す第1実施例の空間フィルター24を変えて、図6(a)に示す如き輪帯状の開口240aを有する空間フィルター240をフライアイレンズ23の射出側に設けた例を示すものである。この空間フィルター240の配置により、フライアイレンズ23の射出側には、図6(a)に示す如く、光軸AXから偏心した輪帯状の2次光源45が形成され、この輪帯状の2次光源45からの光が、図3に示す如く、コンデンサーレンズ26、レチクル12を介して投影光学系13の瞳面10A（入射瞳面）に達する。ここで、説明を簡単にするために、レチクル12のライン・アンド・スペースパターンの回折作用による0次回折光と1次回折光との様子について考えると、この投影光学系13の瞳面10Aには、図6

(b)に示す如く、輪帯光源45と相似な輪帯状の0次回折光45Aと輪帯状の0次回折光45Aを横ずれさせた輪帯状の1次回折光45Bが形成される。

【0041】この場合、本例では図7(a)に示すように、等価光源部10の輪帯状の2次光源45から射出される照明光をそれぞれ光軸AXを中心とする円周の接線方向に偏光させる輪帯状の偏光板250が空間フィルタ

10

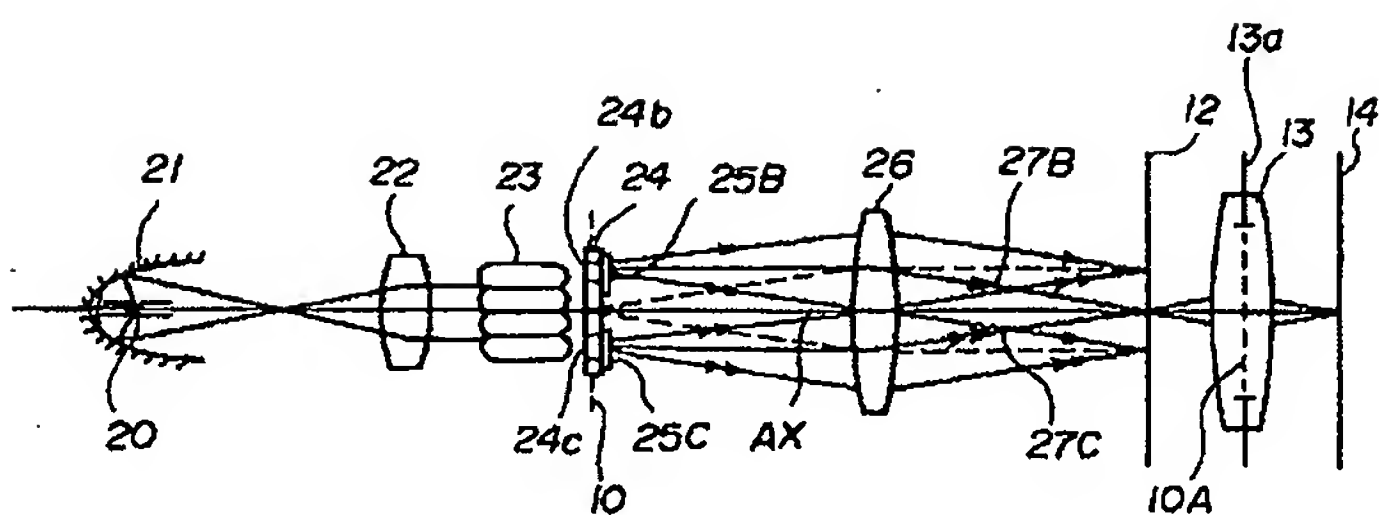
20

30

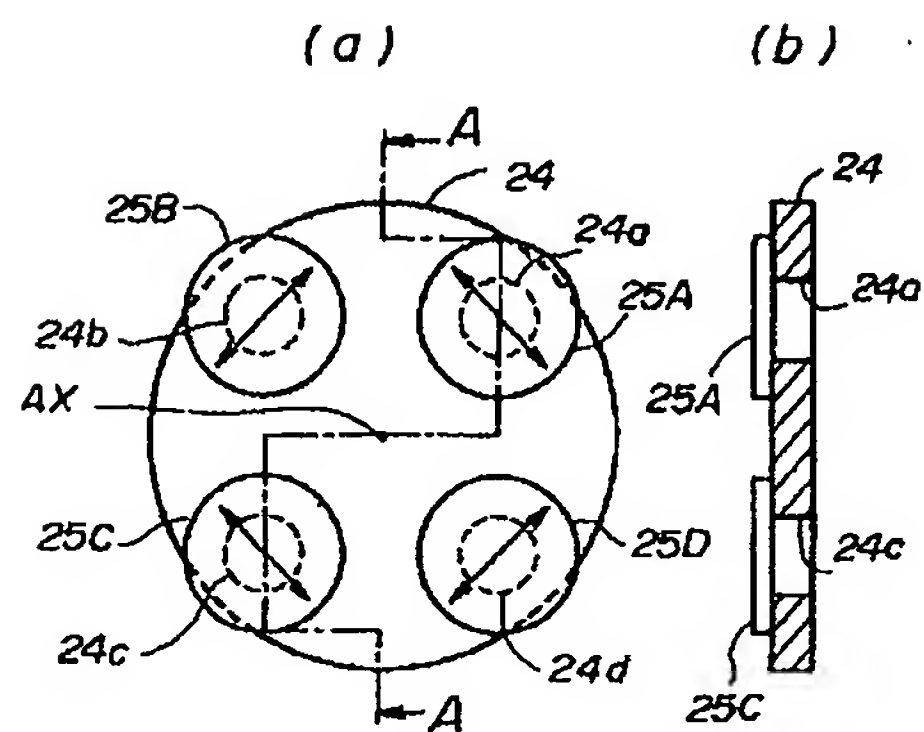
40

50

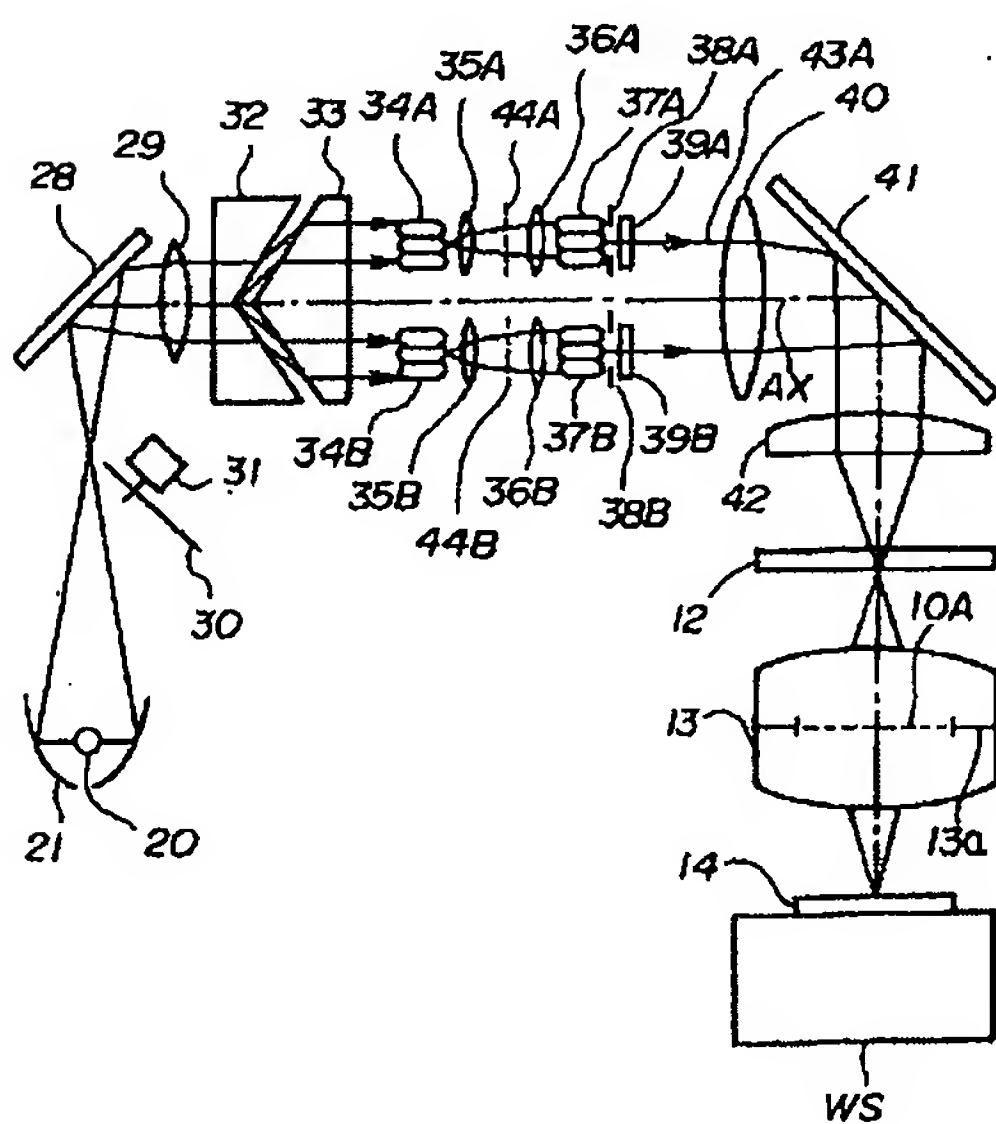
【図3】



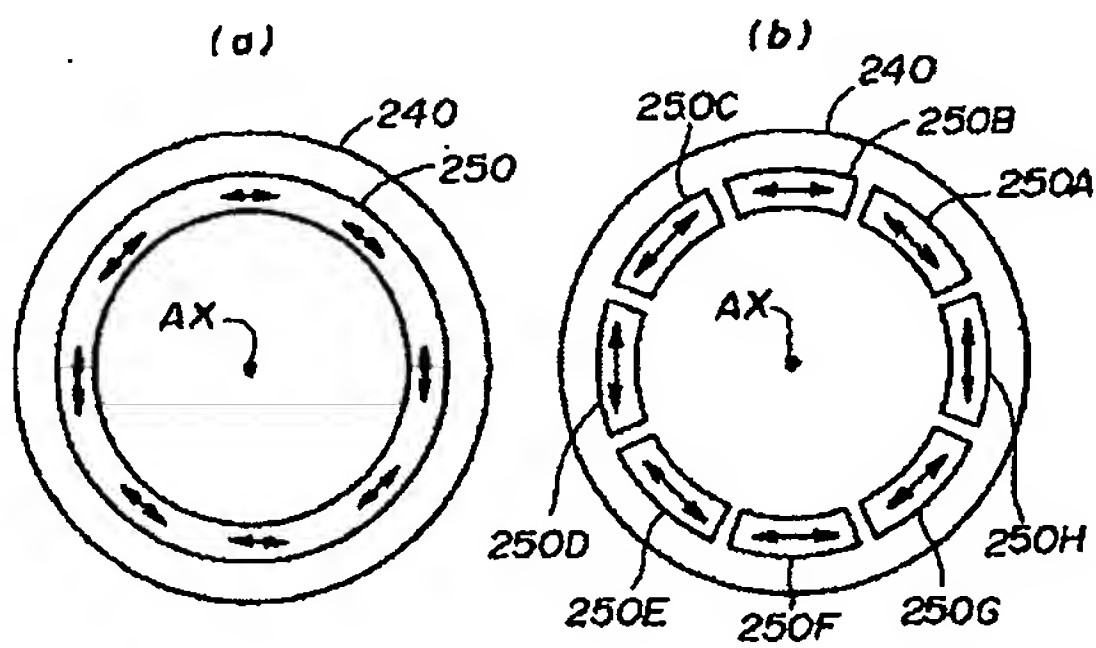
【図4】



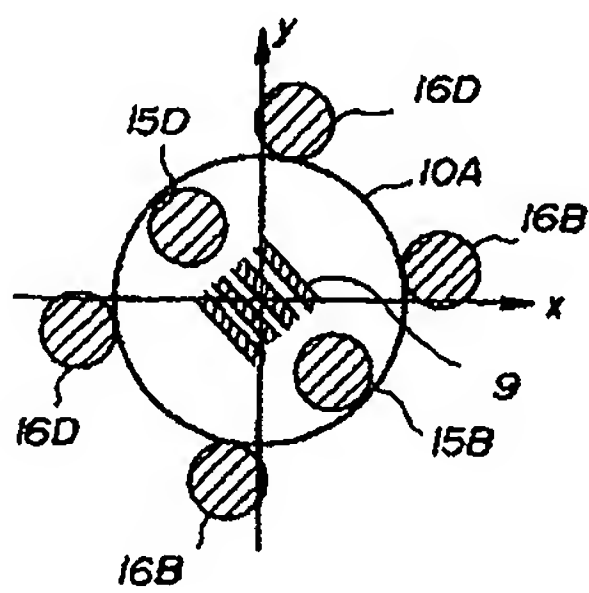
【図5】



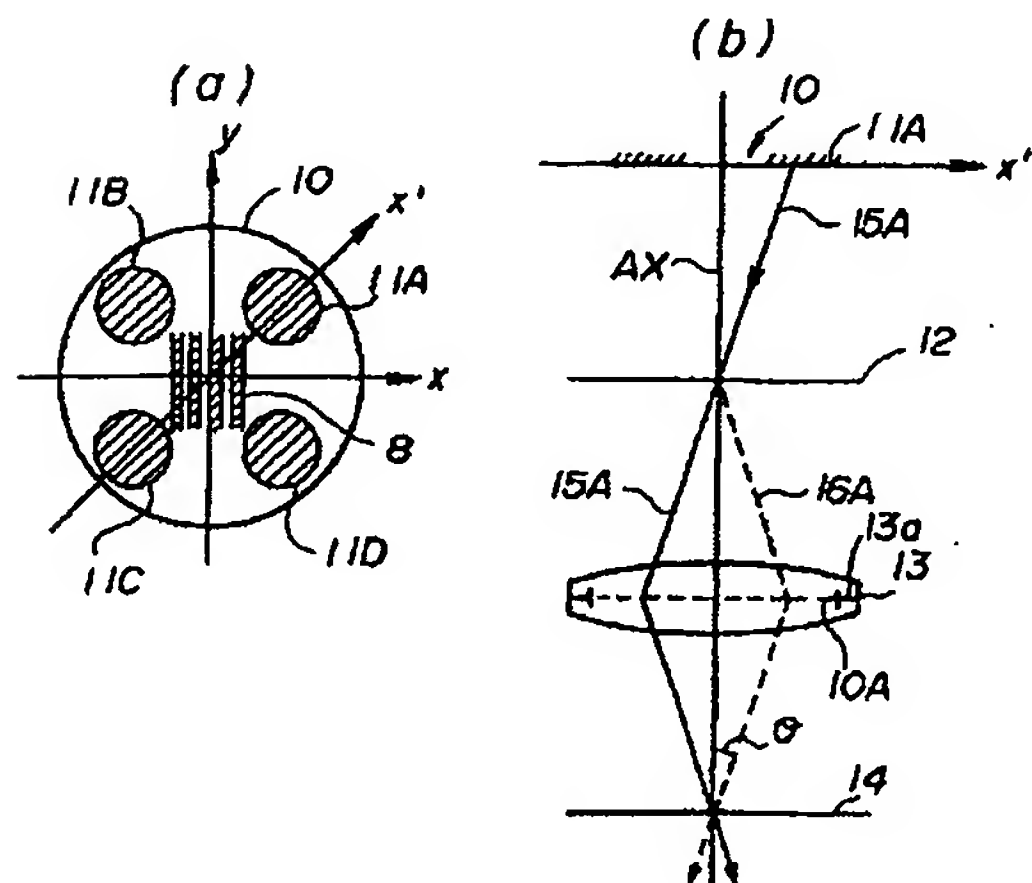
【図7】



【図9】



【図8】





ー240上に設けられている。これにより、微細パターンに対して高コントラストの像を得ることができる。なお、図7(b)に示すように輪帯状光源を円弧状の各ゾーンに分ける開口を持つ空間フィルター240を用いて、各ゾーン上に偏光板250A~250Hを設けて、各ゾーンごとに光軸AXを軸とする円周の接線方向の直線偏光の照明光となるようにしてもよい。

【0042】なお、本発明は上述実施例に限定されず本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

【0043】

【発明の効果】本発明の第1及び第2の照明光学装置によれば、物体に対して傾斜して入射する照明光が入射面に垂直な方向に偏光しているので、その物体上のパターンがその照明光の入射面に垂直な方向を長手方向とするライン・アンド・スペースパターンであるような場合に、投影光学系でその物体のパターンを投影したときにその像のコントラストを大幅に改善できる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は本発明による照明光学装置の原理の説明に供する等価光源を示す図、(b)は図1(a)の等価光源を使用した投影露光装置を示す概略構成図である。

【図2】本発明の原理の説明に供する図である。

【図3】本発明の第1実施例の投影露光装置の照明光学系を示す構成図である。

【図4】(a)は図3の空間フィルター24及び偏光板25A~25Dを示す正面図、(b)は図4(a)のA

A線に沿う断面図である。

【図5】本発明の第2実施例の投影露光装置を示す構成図である。

【図6】(a)は本発明の第3実施例の等価光源及び空間フィルター240を示す図、(b)は空間フィルター240を用いた事による投影光学系13の瞳での回折光の様子を示す図である。

【図7】(a)は第3実施例の等価光源からの照明光の偏光状態を示す図、(b)は第3実施例の変形例の等価光源を示す図である。

【図8】(a)は複数傾斜照明の等価光源を示す図、

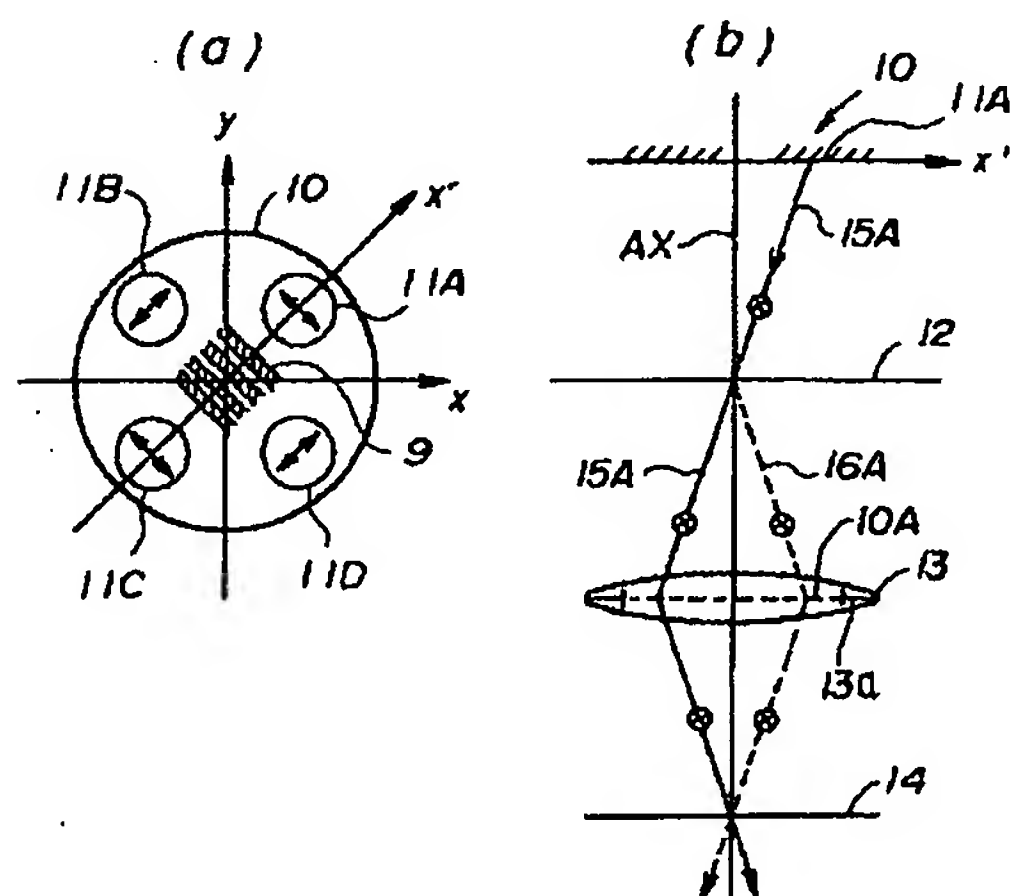
(b)は図8(a)の等価光源を用いた場合の投影光学系13の瞳での回折光の様子を示す図である。

【図9】複数傾斜照明で特定のパターンを照明した場合を示す図である。

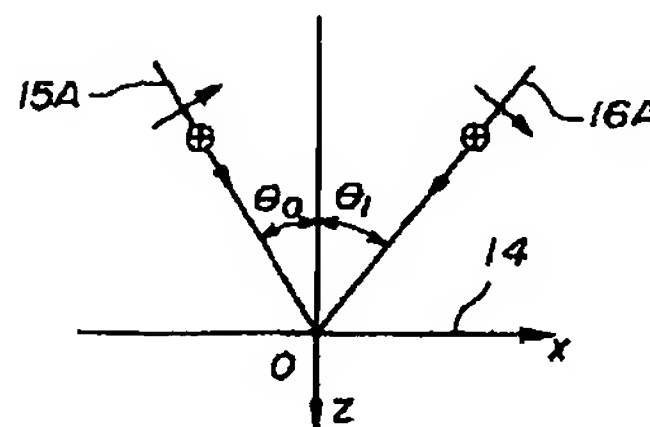
【符号の説明】

- 10 等価光源
- 11A~11D 小光源
- 12 レチクル
- 13 投影光学系
- 14 ウエハ
- 20 光源
- 22 コリメータレンズ
- 23 フライアイレンズ
- 24 空間フィルター
- 24a~24d 開口
- 25A~25D 偏光板
- 26 コンデンサーレンズ系

【図1】



【図2】



【図6】

